

# Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/EP05/051147

International filing date: 14 March 2005 (14.03.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: DE  
Number: 10 2004 019 152.2  
Filing date: 21 April 2004 (21.04.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 11 April 2005 (11.04.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland  
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse



**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 10 2004 019 152.2

**Anmeldetag:** 21. April 2004

**Anmelder/Inhaber:** ROBERT BOSCH GMBH, 70469 Stuttgart/DE

**Bezeichnung:** Verfahren zum Betreiben eines Magnetventils  
zur Mengensteuerung

**IPC:** F 02 M, F 16 K, H 01 F

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-  
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 21. Februar 2005  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
Im Auftrag

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Wehner'.

Wehner

19.04.04 Sm/Oy

5

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

10

Verfahren zum Betreiben eines Magnetventils zur Mengensteuerung

Stand der Technik

15

Die Erfindung geht aus von einem Verfahren zum Betreiben eines Magnetventils zur Mengensteuerung sowie einer Vorrichtung zur Kraftstoffversorgung einer Brennkraftmaschine mit einem Magnetventil zur Mengensteuerung nach der Gattung der unabhängigen Ansprüche.

20

Weiterhin betrifft die Erfindung ein Steuergerät zur Ausführung eines Verfahrens zum Betreiben eines Magnetventils zur Mengensteuerung sowie ein Computerprogramm-Produkt zur Durchführung des Verfahrens auf einem Computer.

25

Aus der DE 199 13 477 ist bereits ein Verfahren zum Betreiben einer Kraftstoffzuführ-einrichtung mit einem Mengensteuerventil bekannt. Das Mengensteuerventil ist stromlos offen und wird zum Schließen mit einer konstanten Spannung - der Batteriespannung - angesteuert, wobei der Strom in charakteristischer Weise ansteigt. Nach dem Abschalten der Spannung fällt der Strom wiederum in charakteristischer Weise ab und das Ventil öffnet kurz nach dem der Strom abgefallen ist.

30

Aus der DE 102 01 453 ist ein Verfahren der zum Betreiben eines Magnetventils für einen Bremszylinder bekannt. Das offenbarte Magnetventil ist stromlos offen und wird zum Schließen mit einer konstanten Spannung angesteuert. Beim Erreichen eines maximalen Anzugstroms wird die Spule des Magnetventils mit einer gepulsten Spannung angesteuert, sodass der Strom durch die Spule auf einen minimal zulässigen Haltestrom abfällt.

35

Zum Öffnen des Magnetventils wird die am Magnetventil anliegende Spannung abge-

schaltet, wobei der Stromabfall ausgehend vom Haltestrom zeitlich schneller erfolgt als bei einem vorliegenden maximalen Anzugstroms.

5 Das erfindungsgemäße Verfahren mit den Merkmalen des unabhängigen Anspruchs hat demgegenüber den Vorteil, dass zunächst eine erste Spannung an eine Spule eines Magnetventils bis zu einem ersten Zeitpunkt und anschließend eine zweite Spannung, die im Wert kleiner ist als die erste Spannung, angelegt wird. Die Umschaltung auf die zweite Spannung zum ersten Zeitpunkt erfolgt vor Erreichen einer Endposition des Magnetventils. Der besondere Vorteil dieses erfindungsgemäßen Vorgehens liegt darin, dass mit der ersten angelegten Spannung der Spulenstrom und somit auch die Magnetkraft rasch aufgebaut wird, wobei ein schneller Bewegungsbeginn des Magnetventils erzielt wird. Durch das Umschalten auf einen zweiten niedrigeren Spannungswert wird ein unnötiges Ansteigen des Spulenstromes vermieden. Der erste Zeitpunkt kann sowohl vor als auch nach Erreichen eines bestimmten Kraftwertes liegen, bei der sich der Magnetanker in Bewegung setzt. Wichtig ist, dass durch die erfindungsgemäße Ansteuerung ein sicheres Anziehen des Magnetankers sichergestellt ist. Prinzipiell lässt sich das erfindungsgemäße Verfahren sowohl auf stromlos geöffnete als auch stromlos geschlossene Ventile anwenden. Durch Umschalten auf eine zweite Spannung, die im Wert niedriger ist als die erste Spannung wird vermieden, dass der Spulenstrom bei einer weiteren Ansteuerung des Magnetventils einen maximal zulässigen Strom überschreitet.

Durch diese in den Unteransprüchen aufgeführten Maßnahmen sind weitere vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen der erfindungsgemäßen Vorrichtung möglich.

Besonders vorteilhaft ist es, wenn die zweite Spannung mindestens so groß ist, dass sich die Bewegung des Magnetventils fortsetzt und somit ein sicheres Schließen/Öffnen des Magnetventils gewährleistet ist.

30 Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung ist die zweite Spannung in vorteilhafter Weise so gewählt, dass der Strom durch die Spule und somit die auf das Magnetventil einwirkende Kraft weiter ansteigt, wodurch die Zuverlässigkeit der Schließbewegung/Öffnungsbewegung weiter erhöht wird.

35 Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform wird ab einem zweiten Zeitpunkt eine dritte Spannung an der Spule des Magnetventils angelegt, die im Wert kleiner ist als

die zweite Spannung und gegenüber der zweiten Spannung den Strom nicht weiter ansteigen lässt. So wird in vorteilhafter Weise vermieden, dass der Spulenstrom weiter ansteigt und einen maximal zulässigen Strom überschreitet.

5 Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform liegt ab einem dritten Zeitpunkt eine vierte Spannung an der Spule des Magnetventils an, die im Wert kleiner ist als die dritte Spannung und es stellt sich ein Strom ein, der mindestens so groß ist, dass in vorteilhafter Weise eine Mindesthaltekraft des Magnetventils gewährleistet ist.

10 Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform wird mindestens eine der an der Spule des Magnetventil anliegenden Spannung durch Pulsweitenmodulation in ihrer effektiven Spannung beeinflusst. Dies hat den Vorteil, dass alle Spannungen ausgehend von einer Basisspannung allein durch Pulsweitenmodulation entsprechend der gewünschten Spannungshöhe eingestellt werden können.

15 Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform ist eine Vorrichtung zum Ansteuern eines Magnetventils vorgesehen, insbesondere ein Steuergerät in einem Kraftfahrzeug, wobei die Vorrichtung das Magnetventil so ansteuert, dass zunächst eine erste Spannung an einer Spule eines Magnetventils anliegt bis eine Bewegung des Magnetventils ausgelöst ist und anschließend eine zweite Spannung, die im Wert kleiner ist als die erste Spannung.

20 Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform ist es vorgesehen, die Zeitpunkte an denen die Spannungen umgeschaltet werden und die elektrische Spannung in Abhängigkeit von Betriebsgrößen, bspw. der Brennkraftmaschine, der Hochdruckpumpe etc., in einem Kennfeld abzulegen.

30 Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform ist es vorgesehen das erfindungsgemäße Verfahren und Vorgehen als Computerprogramm-Produkt mit Programmcode auf einem maschinenlesbaren Träger abzuspeichern, wobei bei Ablauf des Programms auf einem Computer, Recheneinheit, Steuergerät etc. das Verfahren erfindungsgemäß ausgeführt wird. In vorteilhafter Weise können als maschinenlesbare Träger auch Disketten, Speicherbausteine, Flash-Rom, optische Speicher, Festplatten etc. eingesetzt werden.

35 Zeichnungen

Weitere Merkmale, Anwendungsmöglichkeiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen der Erfindung, die in den Zeichnungen dargestellt sind. Dabei bilden alle beschriebenen oder dargestellten Merkmale für sich oder in beliebiger Kombination den Gegenstand der Erfindung, unabhängig von ihrer Zusammenfassung in den Patentansprüchen oder deren Rückbeziehung sowie unabhängig von ihrer Formulierung bzw. Darstellung in der Beschreibung bzw. in den Zeichnungen.

Es zeigen:

Figur 1 zeigt schematisch eine Vorrichtung zu Kraftstoffversorgung einer Brennkraftmaschine;

Figur 2 zeigt schematisch verschiedene Funktionszustände einer Hochdruckpumpe mit einem zugehörigen Zeitdiagramm;

Figur 3 zeigt schematisch den zeitlichen Verlauf des Hubs des Magnetventils und deren darauf wirkenden Kraft nach Bestromung des Magnetventils;

Figur 4 zeigt schematisch den zeitlichen Verlauf des Drucks in der Hochdruckpumpe;

Figur 5 zeigt schematisch den zeitlichen Verlauf der an der Spule des Magnetventils anliegenden Spannung;

Figur 6 zeigt schematisch den zeitlichen Verlauf des durch die Spule fließenden Stroms;

Figur 7 zeigt schematisch den zeitlichen Verlauf von Strom und Spannung an der Spule des Magnetventils für eine bestimmte Ansteuerungsdauer;

Die Beschreibung bezieht sich der Einfachheit halber im Wesentlichen auf ein stromlos offenes Magnetventil, das erfindungsgemäße Vorgehen ist jedoch nicht auf diese Ausführungsform beschränkt, sondern umfasst insbesondere auch stromlos geschlossene Magnetventile.

In Figur 1 ist beispielhaft eine Vorrichtung 10 zur Kraftstoffversorgung einer Brennkraftmaschine gezeigt. Die Vorrichtung 10 weist eine elektrische Kraftstoffpumpe 11 auf, mit der Kraftstoff aus einem Kraftstofftank 12 gefördert und über ein Kraftstofffilter 13 weitergepumpt wird. Die Kraftstoffpumpe 11 ist dazu geeignet, einen Niederdruck zu erzeugen. Zur Steuerung und/oder Regelung dieses Niederdrucks ist ein Niederdruckregler 14 vorgesehen, der mit dem Ausgang des Kraftstofffilter 13 verbunden ist, und über den Kraftstoff wieder zum Kraftstofftank 12 zurückgeführt werden kann. An dem Ausgang

des Kraftstofffilters 13 ist des Weiteren eine Serienschaltung aus einem Mengensteuerventil 15 und einer mechanischen Hochdruckpumpe 16 angeschlossen. Der Ausgang der Hochdruckpumpe 16 ist über ein Überdruckventil 17 an den Eingang des Mengensteuerventil 15 zurückgeführt. Der Ausgang der Hochdruckpumpe 16 ist weiterhin mit einem Druckspeicher 18 verbunden, an dem eine Mehrzahl von Einspritzungsventilen 19 angeschlossen sind. Der Druckspeicher 18 wird häufig auch als Rail oder Common Rail bezeichnet. Des Weiteren ist am Druckspeicher 18 ein Drucksensor 20 angeschlossen. Die in Figur 1 dargestellte Vorrichtung zur Kraftstoffversorgung dient im vorliegenden Beispiel dazu, die Einspritzungsventile 19 einer vierzylindrigen Brennkraftmaschine mit ausreichenden Kraftstoff und notwendigen Kraftstoffdruck zu versorgen, sodass eine zuverlässige Einspritzung und ein sicherer Betrieb der Brennkraftmaschine gewährleistet ist.

Die Funktionsweise des Mengensteuerventil 15 und der Hochdruckpumpe 16 sind in Figur 2 im Einzelnen dargestellt. Das Mengensteuerventil 15 ist als stromlos offenes Magnetventil aufgebaut und weist eine Spule 21 auf, über die durch Anlegen oder Abschalten eines elektrischen Stroms bzw. einer elektrischen Spannung das Magnetventil 22 geschlossen oder geöffnet werden kann. Die Hochdruckpumpe 16 weist einen Kolben 23 auf, der von einem Nocken 24 der Brennkraftmaschine betätigt wird. Des Weiteren ist die Hochdruckpumpe 16 mit einem Ventil 25 versehen. Zwischen dem Magnetventil 22, dem Kolben 23 und dem Ventil 25 ist ein Förderraum 26 der Hochdruckpumpe 16 vorhanden.

Mit dem Magnetventil 22 kann der Förderraum 26 von einer Kraftstoffzufuhr durch die elektrische Kraftstoffpumpe 11 und damit von dem Niederdruck abgetrennt werden. Mit dem Ventil 25 kann der Förderraum 26 von dem Druckspeicher 18 und damit von dem Hochdruck abgetrennt werden.

Im Ausgangszustand wie er in der Figur 2 links dargestellt ist, ist das Magnetventil 22 geöffnet und das Ventil 25 geschlossen. Das geöffnete Magnetventil 22 entspricht dem stromlosen Zustand der Spule 21. Das Ventil 25 wird durch den Druck einer Feder oder entsprechendes geschlossen gehalten.

In der linken Darstellung der Figur 2 ist der Saughub der Hochdruckpumpe 16 dargestellt. Bei einer Drehbewegungen des Nockens 24 in Richtung des Pfeils 27 bewegt sich der Kolben 23 in Richtung des Pfeils 28. Aufgrund des geöffneten Magnetventil 22 strömt

somit Kraftstoff, der von der elektrischen Kraftstoffpumpe 11 gefördert worden ist, in den Förderraum 26.

5 In der mittleren Darstellung der Figur 2 ist der Förderhub der Hochdruckpumpe 16 gezeigt, wobei jedoch die Spule 21 noch stromlos und damit das Magnetventil 22 noch geöffnet ist. Auf Grund der Drehbewegungen der Nocke 24 bewegt sich der Kolben 23 in Richtung des Pfeils 29. Aufgrund des geöffneten Magnetventils 22 wird damit Kraftstoff aus dem Förderraum 26 zurück in Richtung zu der elektrischen Kraftstoffpumpe 11 gefördert. Dieser Kraftstoff gelangt dann über den Niederdruckregler 14 zurück in den Kraftstofftank 12.

10 In der rechten Darstellung der Figur 2 ist - wie in der mittleren Darstellung - weiterhin der Förderhub der Hochdruckpumpe 16 gezeigt. Im Unterschied zu der mittleren Darstellung ist jedoch nunmehr die Spule 21 erregt und damit das Magnetventil 22 geschlossen. Dies hat zur Folge, dass durch die weitere Hubbewegung des Kolbens 23 im Förderraum 26 ein Druck aufgebaut wird. Mit Erreichen des Druckes, welcher im Druckspeicher 18 herrscht, wird das Ventil 25 geöffnet und die Restmenge in den Druckspeicher gefördert.

15 20 Die Menge des zu dem Druckspeicher 18 geförderten Kraftstoffs hängt davon ab, wann das Magnetventil 22 in seinen geschlossenen Zustand übergeht. Je früher das Magnetventil 22 geschlossen wird, desto mehr Kraftstoff wird über das Ventil 25 in den Druckspeicher 18 gefördert. Dies ist in der Figur 2 durch einen mit einem Pfeil gekennzeichneten Bereich B dargestellt.

30 Sobald bei der rechten Darstellung der Figur 2 der Kolben 23 seinen maximalen Kolbenhub erreicht hat, kann von dem Kolben 23 kein weiterer Kraftstoff über das Ventil 25 in den Druckspeicher 18 gefördert werden. Das Ventil 25 schließt. Des weiteren wird die Spule 21 wieder stromlos gesteuert, sodass das Magnetventil 22 wieder öffnet. Daraufhin kann der sich nunmehr entsprechend der linken Darstellung der Figur 2 in Richtung des Pfeils 28 bewegend Kolben 23 wieder Kraftstoff der elektrischen Kraftstoffpumpe in den Förderraum 26 ansaugen.

35 In Figur 3 ist schematisch der zeitliche Verlauf des Hubs  $h_M$  des Magnetventils 22 und die auf das Magnetventil 22 wirkenden Kraft  $F_M$  beim Unterspannungssetzen der Spule



21 des Magnetventils 22 gezeigt. Sobald eine elektrische erste Spannung  $U_1$  ab dem Ansteuerbeginn  $t_0$  an der Spule 21 anliegt, baut sich ein Magnetfeld auf, das auf den Anker des Magnetventils 22 mit einer elektromagnetischen Kraft  $F_M$  wirkt. Dieser elektromagnetischen Kraft  $F_M$  steht einer Federkraft  $F_f$  des betrachteten Mengensteuer-

5 ventils 15 entgegen. Erst wenn die elektromagnetischen Kraft  $F_M$  die Federkraft  $F_f$  überwindet, setzt sich das Magnetventil 22 zu einem Bewegungs-Zeitpunkt  $t_B$  in Bewegung. Im in Figur 3 skizzierten Fall ist zeitgleich zu diesem Bewegungs-Zeitpunkt  $t_B$  ein erster Zeitpunkt  $t_1$  gesetzt, bei dem die zunächst anliegende erste Spannung  $U_1$  auf eine niedrigere zweite Spannung  $U_2$  umgeschaltet wird.

10 Die zweite Spannung  $U_2$  ist mindestens so hoch, dass sich die durch das Anlegen der ersten Spannung  $U_1$  initiierte Bewegung des Magnetventils fortsetzt. Im dargestellten Fall ist eine zweite Spannung  $U_2$  vorgesehen, bei der mit zunehmender Ansteuerzeit der Spulenstrom und somit auch die elektromagnetische Kraft  $F_M$  mit geringerer Steigung

15 als bis zum ersten Zeitpunkt  $t_1$  ansteigt. Zu einem End-Zeitpunkt  $t_E$  befindet sich das Magnetventil 22 in seiner Endposition. Bei einem stromlos offenem Magnetventil ist das Magnetventil 22 zum End-Zeitpunkt  $t_E$  vollständig geschlossen und bei einem stromlos geschlossen Magnetventil vollständig offen. Im skizzierten Ausführungsbeispiel wird zeitgleich zum End-Zeitpunkt  $t_E$  ein zweiter Zeitpunkt  $t_2$  gesetzt, ab dem die am Magnetventil anliegende elektromagnetische Kraft  $F_M$  im Wesentlichen konstant gehalten

20 und ab einem dritten Zeitpunkt  $t_3$  bspw. auf eine Mindesthaltekraft reduziert wird.

Der Bewegungs-Zeitpunkt  $t_B$ , bei dem sich das Magnetventil bei einer bestimmten Ansteuerung in Bewegung setzt, und der End-Zeitpunkt  $t_E$  sind prinzipiell für ein jeweiliges Magnetventil bekannt. Es kann jedoch auch vorgesehen sein, diesen Bewegungs-

Zeitpunkt  $t_B$  über Sensoren bspw. direkt über die Bewegung oder indirekt über andere Größen zu bestimmen.

Vorzugsweise wird der erste Zeitpunkt  $t_1$ , bei dem von der ersten Spannung  $U_1$  auf ein

30 zweite Spannung  $U_2$  umgeschaltet wird, so festgelegt, dass die Zeitdauer mit der die Spule 21 des Magnetventils 22 mit einer elektrischen ersten Spannung  $U_1$  angesteuert wird mindestens so lang ist, dass eine Bewegung des Magnetventils 22 ausgelöst wird.

Je nach Ausführungsform kann dieser erste Zeitpunkt  $t_1$  mit dem tatsächlichen Bewegungs-Zeitpunkt  $t_B$  des Magnetventils übereinstimmen, es kann jedoch auch vorgesehen

35

sein, den ersten Zeitpunkt  $t_1$  vor oder nach dem tatsächlichen Bewegungs-Beginn  $t_B$  zu legen. So ist es denkbar, den ersten Zeitpunkt  $t_1$  so früh zu wählen, dass sich zwar zum ersten Zeitpunkt  $t_1$  das Magnetventil noch nicht in Bewegung gesetzt hat, die Zeitdauer der Ansteuerung jedoch so lang war, dass die in die Spule eingebrachte Energie ausreicht, um das Magnetventil zu einem späteren Zeitpunkt in Bewegung zu setzen. In diesem Fall wird die Bewegung des Magnetventils zwar durch das Anlegen einer ersten Spannung  $U_1$  bis zu einem ersten Zeitpunkt  $t_1$  ausgelöst, die tatsächliche Bewegung des Magnetventils erfolgt jedoch zu einem Bewegungs-Zeitpunkt  $t_B$  der zeitlich hinter dem ersten Zeitpunkt  $t_1$  liegt.

Nachdem auf zum ersten Zeitpunkt  $t_1$  auf die zweite Spannung  $U_2$  umgeschaltet wurde ist eine Wartezeit  $\Delta t_s$  vorgesehen nach der im Anschluss zum zweiten Zeitpunkt  $t_2$  auf eine dritte Spannung  $U_3$  umgeschaltet wird. Die Wartezeit  $\Delta t_s$  ist in Figur 3 so bemessen, dass der zweite Zeitpunkt  $t_2$  mit dem Erreichen der Endposition des Magnetventils 22 zum End-Zeitpunkt  $t_E$  übereinstimmt. Bei geringen Drehzahlen der Hochdruckpumpe 16 reicht es aus, die Wartezeit  $\Delta t_s$  so großzügig zu bemessen, dass der zweite Zeitpunkt  $t_2$  zeitlich hinter dem End-Zeitpunkt  $t_E$  des Magnetventils 22 liegt, und so der zweite Zeitpunkt  $t_2$  für eine Vielzahl von Betriebsbedingungen unverändert beibehalten werden kann.

Im Hinblick auf den Betrieb von Hochdruckpumpen in einem hohen Drehzahlbereich und den erforderlichen kurzen Ansteuerzeiten ist es jedoch angezeigt, die Zeitpunkte  $t_1, 2, 3$  bei denen die Spannungen umgeschaltet werden möglichst früh zu setzen, um möglichst kurze Ansteuerzeiten zu realisieren.

Figur 4 zeigt schematisch den zeitlichen Verlauf des Drucks im Förderaum 26 der Hochdruckpumpe 16 mit einem stromlos offenem Magnetventil 22. Vor dem Erreichen der Endposition des Magnetventils herrscht bis zum End-Zeitpunkt  $t_E$  bzw. zweiten Zeitpunkt  $t_2$  im Förderaum 26 im Wesentlichen ein konstanter Niederdruck, der durch die Kraftstoffpumpe 11 und dem Niederdruckregler 14 erzeugt und eingestellt wird. Nach dem Schließen des Magnetventils 22 zum End-Zeitpunkt  $t_E$  komprimiert der sich zum oberen Totpunkt bewegend Kolben 23 das Volumen im Förderaum 26, wodurch der Kraftstoffdruck ansteigt. Zu einem Druck-Zeitpunkt  $t_D$  erreicht der Druck im Förderaum 26 einen Haltedruck  $p_1$ . Die durch diesen Haltedruck  $p_1$  auf das Magnetventil 22 ausgeübte Kraft entspricht im Wesentlichen der Federkraft  $F_f$ . Die Druckkraft reicht

prinzipiell aus, um das Magnetventil auch ohne Ansteuerung im geschlossenen Zustand zu halten, d.h. prinzipiell wäre es möglich zum Druck-Zeitpunkt  $t_D$  die an der Spule 21 des Magnetventils 22 anliegende Spannung abzuschalten. Um unter anderem jedoch eine hohe Betriebsicherheit bzw. definierte Betriebszustände zu gewährleisten, ist es vorgesehen zum Druck-Zeitpunkt  $t_D$  einen dritten Zeitpunkt  $t_3$  vorzusehen, beim dem auf eine vierte Spannung  $U_4$  umgeschaltet wird und sich die anliegende elektromagnetische Kraft  $F_M$  auf eine Sicherheitshaltekraft reduziert.

Die zu verschiedenen Zeiten an der Spule 21 des Magnetventils 21 anliegenden Spannungen sind schematisch in Figur 5 gezeigt und in Figur 6 die dazu korrespondierenden Spulenströme. Den beiden Figuren ist zu entnehmen, dass zum Schließen des Magnetventils 22 eine erste Spannung  $U_1$  an die Spule 21 des Magnetventils 22 angelegt wird. Im weiteren zeitlichen Verlauf wird nach einem ersten, zweiten und dritten Zeitpunkt  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$  jeweils eine zweite, dritte und vierte Spannung  $U_2$ ,  $U_3$ ,  $U_4$  angelegt, wobei die jeweils nachfolgende Spannung im Wert kleiner ist als die vorhergehende. Die zu den Spannungen korrespondierenden Ströme, wie sie die Figur 6 zeigt, verhalten sich dementsprechend in charakteristischer Weise. Beim Anlegen der ersten Spannung  $U_1$  steigt der Strom rasch an, um dann bei Vorliegen der zweiten Spannung  $U_2$  zum Zeitpunkt  $t_1$  mit einer geringeren Steigung anzusteigen, ab dem Zeitpunkt  $t_2$  verläuft der Strom dann im Wesentlichen konstant und fällt nach dem dritten Zeitpunkt  $t_3$  in charakteristischer Weise auf einen im Wesentlichen konstanten geringeren Wert ab.

Wie beschrieben wird zum Schließen des Magnetventils 22 an die Spule 21 eine erste Spannung  $U_1$  angelegt. Der Spulenstrom steigt gemäß der bekannten Beziehung  $I = U / R (1 - \exp(-t * R/L))$  an, wobei für die beispielhaft betrachteten Zeiträume der Exponential-Term in erster Näherung vernachlässigt werden kann. Der erste Stromanstieg entspricht  $di_1/dt (t=0) = U/L$  und hängt somit im Wesentlichen von der angelegten Spannung und der Induktivität der Spule ab. Im Hinblick auf kurze Schaltzeiten sind somit sowohl hohe anliegende Spannungen als auch geringe Induktivität der Spule 21 förderlich.

Mit zunehmender Dauer der Ansteuerung der Spule steigt sowohl der Spulenstrom  $I$  als auch die auf das Magnetventil 22 wirkende elektromagnetische Kraft  $F_M$ ; d.h. je schneller der Strom ansteigt, desto schneller erhöht sich die anliegende Kraft  $F_M$ , desto früher beginnt die Schließbewegung und umso schneller schließt das Magnetventil 22.

5 Sobald das Magnetventil 22 zum ersten Zeitpunkt  $t_1$  sich in Bewegung setzt, ist ein weiterer schneller Stromanstieg bzw. Kraftanstieg nicht mehr notwendig. Erfindungsgemäß ist es vorgesehen, den Stromanstieg zu verlangsamen. Ab dem ersten Zeitpunkt  $t_1$  wird die Spule 21 mit einer zweiten Spannung  $U_2$  versorgt, die im Wert kleiner ist als die erste Spannung  $U_1$ . Die zweite Spannung  $U_2$  ist dabei so bemessen, dass der Strom  $I$  weiter ansteigt. Der zur zweiten Spannung  $U_2$  korrespondierende zweite Stromanstieg  $di_2/dt$  ist kleiner als der zur höheren ersten Spannung  $U_1$  korrespondierende erste Stromanstieg  $di_1/dt$ . Der zweite Stromanstieg  $di_2/dt$  bzw. die dazugehörige zweite Spannung  $U_2$  ist vorzugsweise so bemessen, dass bis zu einem späteren zweiten und/oder dritten Zeitpunkt  $t_2, t_3$  der maximal zulässige Spulenstrom des Magnetventils 22 nicht überschritten wird.

10 Zum zweiten Zeitpunkt  $t_2$  ist, wie schon beschrieben, das Magnetventil 22 geschlossen. Ein weiterer Anstieg der auf das Magnetventil 22 wirkenden elektromagnetischen Kraft  $F_M$  verbessert insofern den sicheren Verschluss des Magnetventils nicht. Erfindungsgemäß ist daher kein weiterer Stromanstieg bzw. Anstieg der elektromagnetischen Kraft  $F_M$  vorgesehen. Zu diesem Zweck wird die an der Spule 21 anliegende Spannung weiter auf die dritte Spannung  $U_3$  abgesenkt, die so bemessen ist, dass der Spulenstrom  $I$  im Wesentlichen nicht weiter ansteigt.

20 Im weiteren zeitlichen Verlauf erreicht der Druck  $p$  zum dritten Zeitpunkt  $t_3$  im Förderraum 26 einen Druck  $p_1$ , bei dem davon ausgegangen werden kann, dass das Magnetventil 22 im Wesentlichen allein schon durch Kraft des aufgebauten Drucks verschlossen gehalten werden kann. Erfindungsgemäß wird die auf das Magnetventil 22 wirkende elektromagnetische Kraft  $F_M$  durch eine weitere Reduzierung der Spannung auf eine vierte Spannung  $U_4$  verringert. Durch Anlegen der vierten Spannung  $U_4$  fällt der korrespondierende Spulenstrom  $I$  in charakteristischer Weise auf einen im Wesentlichen konstanten Haltestrom ab.

30 Exemplarisch ist in Figur 7 in schematischer Weise eine Ansteuerung der erfindungsgemäßen Vorrichtung mit einer Ansteuerdauer/-zeit  $t_a$  und dem zeitlichen Verlauf von Strom und Spannung an der Spule 21 des Magnetventils 22 gezeigt. Die Ansteuerung des Magnetventils 22 beginnt zum Zeitpunkt  $t_0$  und endet kurz nach dem zweiten Zeitpunkt  $t_2$  zum Zeitpunkt  $t_a$ . Ab dem Zeitpunkt  $t_0$  liegt die erste Spannung  $U_1$  an und wird,

35

wie beschrieben zum ersten und zweiten Zeitpunkt  $t_1$ ,  $t_2$  jeweils auf die zweite und dritte Spannung  $U_2$ ,  $U_3$  reduziert. Der Stromverlauf verhält sich entsprechend, indem zuerst der Strom rasch und dann mit flacher Steigung ansteigt und ab dem zweiten Zeitpunkt  $t_2$  im Wesentlichen konstant bleibt. Zum Ende der Ansteuerdauer  $t_a$  wird die anliegende dritte Spannung  $U_3$  abgeschaltet und der Strom fällt in charakteristischer Weise ab.

Ab Unterschreiten eines bestimmten Stromwerts wird der Einfachheit halber angenommen, dass die Spule 21 stromlos ist und keine wesentliche elektromagnetische Kraft  $F_M$  mehr am Magnetventil 22 anliegt, sodass bei entsprechender Druckabnahme im Förderraum 26 das Magnetventil 22 öffnet. Die relevante Zeit zur Löschung des magnetischen Feldes ergibt sich im Wesentlichen aus der bekannten Beziehung  $I = I_{\max} \cdot \exp(-t \cdot R/L)$ . Die sich zur Ansteuerdauer  $t_a$  ergebenden Löschezit  $\Delta t_{L_1}$  ist in Figur 7 entsprechend eingezeichnet.

Ab dem ersten Zeitpunkt  $t_1$  ist mit gepunkteter Linie schematisch ein erhöhter Stromverlauf dargestellt, der sich ohne Spannungsreduzierung bei einer beibehaltenen ersten Spannung  $U_1$  einstellen würde. Wenn im vorliegenden Fall davon ausgegangen wird, dass zum Abschaltzeitpunkt  $t_a$  der erhöhte Stromverlauf noch nicht zur Zerstörung der Spule geführt hat, so ist der Figur 7 leicht zu entnehmen, dass die Löschezit  $\Delta t_{L_x}$  bei einem erhöhten Strom deutlich länger ist als die Löschezit  $\Delta t_{L_1}$ , die sich bei dem erfindungsgemäß geringeren Strom einstellt.

Durch das erfindungsgemäße Vorgehen ist es möglich, dass Magnetventil 22 und insbesondere ein Mengensteuerventil im Hinblick auf kurze Ansteuerzeiten bei hohen Drehzahlen der Hochdruckpumpe zu optimieren. Beispielsweise kann es vorgesehen sein, das Einlassventil nur lose am Magnetstößel anliegen zu lassen, wobei über eine zusätzliche Vorrichtung im Förderraum 26 eine Feder auf das Einlassventil/Magnetventil 22 drückt. Dadurch kann der Stößelhub deutlich kleiner ausgeführt werden, was wiederum dazu beiträgt, die für hohe Drehzahlen erforderlichen kurzen Schalt-/Ansteuerzeiten zu erzielen. Eine weitere Maßnahme ist der Einsatz einer niederohmigen Spule mit reduzierter Windungszahl, was zu einem schnellen Stromanstieg bzw. schnellen Anstieg der elektromagnetischen Kraft führt.

In einer weiteren Ausführungsform ist es vorgesehen, mindestens eine der an der Spule 21 des Magnetventils 22 anliegenden Spannung  $U_{1,2,3,4}$  durch Puls-Weiten-Modulation (PWM) einzustellen. Durch Ändern der Puls- und Pausenzeiten ist es so möglich, beispielsweise ausgehend von einer ersten Betriebsspannung, die effektive Spannung der weiteren Spannungen so einzustellen, dass ein erfindungsgemäßer Strom- bzw. Kraftverlauf zu den gewünschten Zeitpunkten vorliegt. So kann beispielsweise als erste Spannung  $U_1$  die Bordnetzspannung gewählt sein und alle weiteren Spannungen werden durch entsprechende Puls-Weiten-Modulation erfindungsgemäß reduziert.

Im normalen Betrieb der Hochdruckpumpe ist es, wie auch in Figur 2 gezeigt, vorgesehen, das Mengensteuerventil 15 während des Förderhubs anzusteuern, insbesondere sollte gewährleistet sein, dass das Mengensteuerventil 15 zum Beginn des Saughubs offen ist. Die Ansteuerung des Mengensteuerventils 15 endet typischerweise zwischen dem zweiten und dritten Zeitpunkt  $t_2$ ,  $t_3$ . Das Mengensteuerventil 15 ist nach der der Ansteuerzeit nachfolgenden Löschzeit wieder geöffnet.

Eine Ansteuerung über den dritten Zeitpunkt  $t_3$  hinaus tritt üblicherweise nur bei sehr geringen Drehzahlen, wie sie beispielsweise beim Start der Brennkraftmaschine vorliegen, auf. Durch das Umschalten auf einen geringen Haltestrom wird die Belastung der Spule 21 des Magnetventils 22 insbesondere beim Start reduziert.

In einer weiteren Ausführungsform ist es denkbar, die Zeitpunkte und notwendigen elektrischen Spannungen in Abhängigkeit von Betriebsgrößen in einem Kennfeld abzulegen, sodass beispielsweise über ein Steuergerät, Steuerelement oder einer Recheneinheit zu jeder vorliegenden Betriebsbedingung eine passende Ansteuerung des Mengensteuerventils 15 aus dem Kennfeld entnommen werden kann. Als typische Betriebsgrößen kommen beispielsweise in Frage, die Motordrehzahl  $n_{mot}$  und dementsprechend die Drehzahl  $n_{hdp}$  der Hochdruckpumpe, der notwendige Förderbeginn bzw. Ansteuerzeitpunkt, die vorliegenden Batterie-/Betriebsspannung  $U_{Bat}$ ,  $U_{Bet}$ , die Betriebstemperatur  $T_M$  des Magnetventils sowie weitere Größen.

Des Weiteren kann es vorgesehen sein, die Umschaltung zwischen den verschiedenen Spannungen nicht in Schritten, sondern kontinuierlich vorzunehmen.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist es vorgesehen, den Stromanstieg ab dem ersten Zeitpunkt  $t_1$  bis zum Zeitpunkt  $t_3$  fortzuführen, wobei ein maximaler Strom jedoch nie überschritten wird.

5      Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist es vorgesehen, nachdem das Magnetventil 22 zum Zeitpunkt  $t_2$  geschlossen ist und der Druck im Förderraum 26 ansteigt, die elektromagnetische Kraft  $F_M$ , bzw. Strom und Spannung, im Gegenzug zum ansteigenden Druck, kontinuierlich auf eine Mindesthaltekraft abzusinken.

10      Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist es vorgesehen, zunächst, wie bereits unter Figur 3 bis 7 beschrieben, eine hohe erste Spannung  $U_1$  an die Spule 21 des Magnetventils 22 anzulegen und, sobald die Schließbewegung des Magnetventils zu einem ersten Zeitpunkt  $t_1$  beginnt, eine zweite niedrigeren Spannung  $U_2$  anzulegen. Die zweite Spannung  $U_2$  ist so gewählt, dass der Strom zwar nicht weiter ansteigt aber die  
15      auf das Magnetventil 22 wirkende elektromagnetische Kraft  $F_M$  ausreicht, um die Schließbewegung des Magnetventils 22 fortzusetzen.

20      Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist es vorgesehen, eine hohe erste Spannung  $U_1$  an die Spule 21 des Magnetventils 22 anzulegen und vor Beginn der Schließbewegung des Magnetventils zu einem ersten Zeitpunkt  $t_1$  eine zweite niedrigere Spannung  $U_2$  anzulegen. Die zweite Spannung  $U_2$  ist so gewählt, dass der weitere Magnetkraftaufbau der Kraft  $F_M$  ausreicht, das Magnetventil 22 sicher zu schließen.

30      In einem möglichen Ausführungsbeispiel ist die zweite Spannung im Wesentlichen gleich mit der dritten Spannung  $U_3$ , die erfindungsgemäß nach dem vollständigen Verschließen des Magnetventils 22 zum Zeitpunkt  $t_2$  gewählt wird. Durch ein derartiges Vorgehen kann in vorteilhafte Weise auf ein Umschalten der Spannungen zum zweiten Zeitpunkt  $t_2$  verzichtet werden.

30      In einem weiteren Ausführungsbeispiel ist es vorgesehen, die zweite Spannung  $t_2$  so zu wählen, dass der sich einstellende Strom  $I$  im Wert größer ist als der sich zur dritten Spannung  $t_3$  einstellende Strom  $I$ .

In einem weiteren Ausführungsbeispiel ist es vorgesehen, die Ansteuerung des Magnetventils stromgesteuert vorzunehmen, und die zu den jeweiligen Zeitpunkten  $t_0, 1, 2, 3, 4$  zu wählenden Spannung von einem vorgegeben Stromanstieg abhängig zu machen.

5      Prinzipiell können die physikalischen Zeitpunkte wie der Bewegungs-Zeitpunkt  $t_B$ , der End-Zeitpunkt  $t_E$  und der Druck-Zeitpunkt bspw. durch direktes oder indirektes Messen als auch durch Modellierung oder Emulationen ermittelt werden.

10      Die Umschaltzeitpunkte, also der erste, zweite und dritte Zeitpunkt  $t_1, 2, 3$  und auch der Ansteuerungsbeginn  $t_0$  werden zwar in Anlehnung an die physikalischen Gegebenheiten und Betriebsbedingungen bestimmt, die Umschaltzeitpunkte müssen jedoch nicht zwangsläufig mit bestimmten Ereignissen bspw. den physikalischen Zeitpunkten übereinstimmen.

15      Insbesondere ist es auch denkbar, die Wartezeit  $\Delta t_s$  je nach Anwendungsfall bspw. wegzulassen, so dass der erste Zeitpunkt  $t_1$  mit dem zweiten Zeitpunkt  $t_2$  zusammenfällt und somit nach dem Anlegen der ersten Spannung  $U_1$  gleich die dritte Spannung  $U_3$ . Auch kann es vorgesehen sein, dass die Wartezeit  $\Delta t_s$  so bemessen ist, dass der zweite  
20      Zeitpunkt  $t_2$  mit dem dritten Zeitpunkt  $t_3$  übereinstimmt und somit nach Anlegen der zweiten Spannung  $U_2$  gleich die vierte Spannung  $U_4$  folgt. Natürlich können auch alle Zwischenzeitpunkte realisiert werden.

Selbstverständlich sind die Ausführungsformen/-beispiele nicht auf das einzelne Beispiel beschränkt, sondern bilden auch in beliebiger Kombination den Gegenstand der Erfindung.



19.04.04 Sm/Oy

5

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

Ansprüche

10

15

20

30

35

1. Verfahren zum Ansteuern eines Magnetventils, insbesondere in einem Kraftfahrzeug, wobei zunächst eine erste Spannung ( $U_1$ ) an eine Spule (21) des Magnetventils (22) bis zu einem ersten Zeitpunkt  $t_1$  und anschließend eine im Wert kleinere zweite Spannung ( $U_2$ ) angelegt wird, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Zeitpunkt  $t_1$  zeitlich vor dem Erreichen einer Endposition des Magnetventils (22) liegt.
2. Verfahren gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Spannung ( $U_2$ ) mindestens so groß ist, dass die Endposition des Magnetventils (22) erreicht wird.
3. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass während die zweite Spannung ( $U_2$ ) anliegt, der Strom ( $I$ ) weiter ansteigt.
4. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ab einem Zeitpunkt ( $t_2$ ) eine dritte Spannung ( $U_3$ ) an der Spule des Magnetventils angelegt wird, die im Wert im Wesentlichen gleich oder kleiner ist als die zweite Spannung ( $U_2$ ) und gegenüber der zweiten Spannung ( $U_2$ ) den Strom nicht weiter ansteigen lässt.
5. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,

dass ab einem dritten Zeitpunkt ( $t_3$ ) eine vierte Spannung ( $U_4$ ) an der Spule des Magnetventils anliegt, die im Wert kleiner ist als die dritte Spannung ( $U_3$ ) und sich ein Strom einstellt, der mindestens so groß ist, dass eine Mindesthaltekraft des Mengensteuerventils gewährleistet ist.

5

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine der an der Spule des Magnetventils anliegenden Spannung ( $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$ ,  $U_4$ ) durch Pulsweitenmodulation in ihrer effektiven Spannung beeinflusst wird.

10

7. Vorrichtung zum Ansteuern eines Magnetventils, insbesondere in einem Kraftfahrzeug, wobei zunächst eine erste Spannung ( $U_1$ ) an eine Spule (21) des Magnetventils (22) bis zu einem ersten Zeitpunkt  $t_1$  und anschließend eine im Wert kleinere zweite Spannung ( $U_2$ ) angelegt wird, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Zeitpunkt  $t_1$  zeitlich vor dem Erreichen einer Endposition des Magnetventils (22) liegt.

15

8. Vorrichtung gemäß Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Zeitpunkte  $t_1$ , 2, 3, 4 und die elektrischen Spannungen  $U_1$ , 2, 3, 4 in Abhängigkeit von Betriebsgrößen in einem Kennfeld abgelegt sind.

20

9. Computerprogramm-Produkt mit Programmcode, der auf einem maschinenlesbaren Träger gespeichert ist, zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wenn das Programm auf einem Computer ausgeführt wird.

19.04.04 Sm/Oy

5

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

Verfahren zum Betreiben eines Magnetventils zur Mengensteuerung

10

Zusammenfassung



15

Verfahren zum Ansteuern eines Magnetventils, insbesondere in einem Kraftfahrzeug, wobei zunächst eine erste Spannung ( $U_1$ ) an eine Spule (21) des Magnetventils (22) bis zu einem ersten Zeitpunkt ( $t_1$ ) und anschließend eine im Wert kleinere zweite Spannung ( $U_2$ ) angelegt wird, wobei der erste Zeitpunkt  $t_1$  zeitlich vor dem Erreichen einer Endposition des Magnetventils (22) liegt.

20

(Fig. 3)



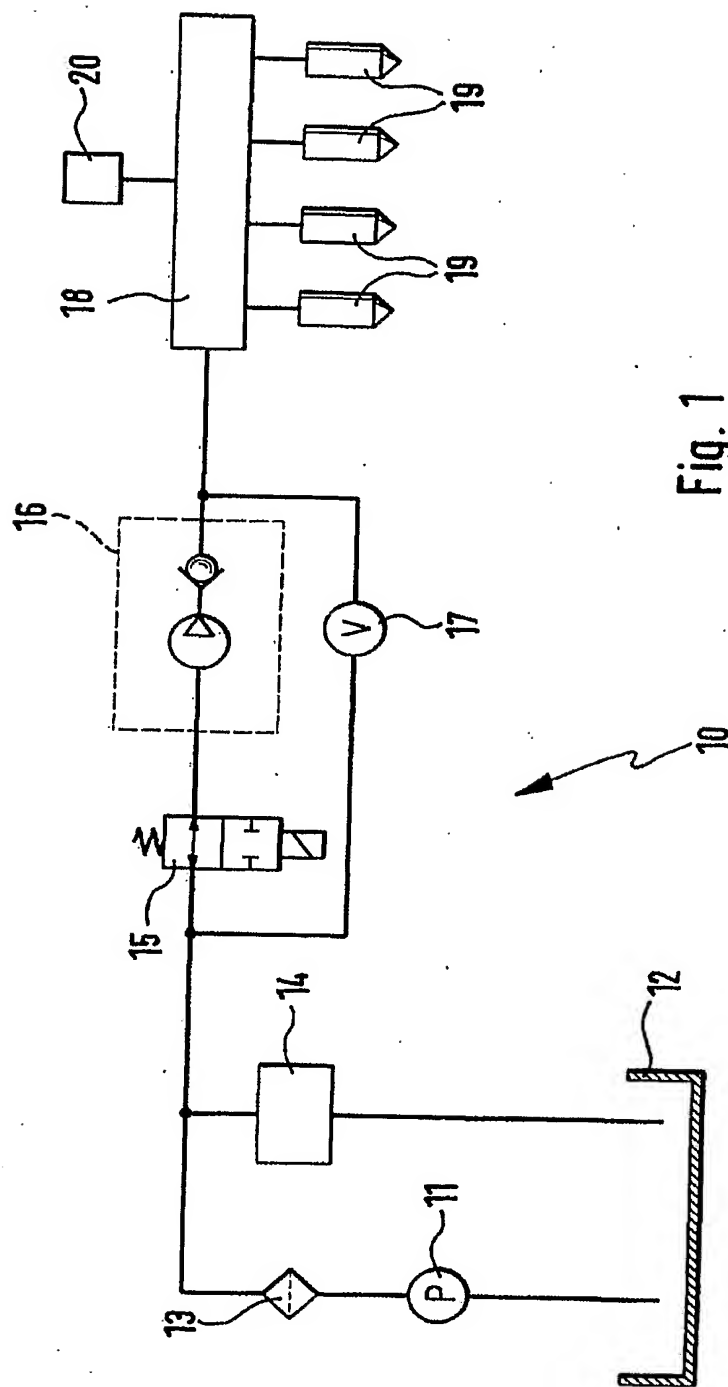
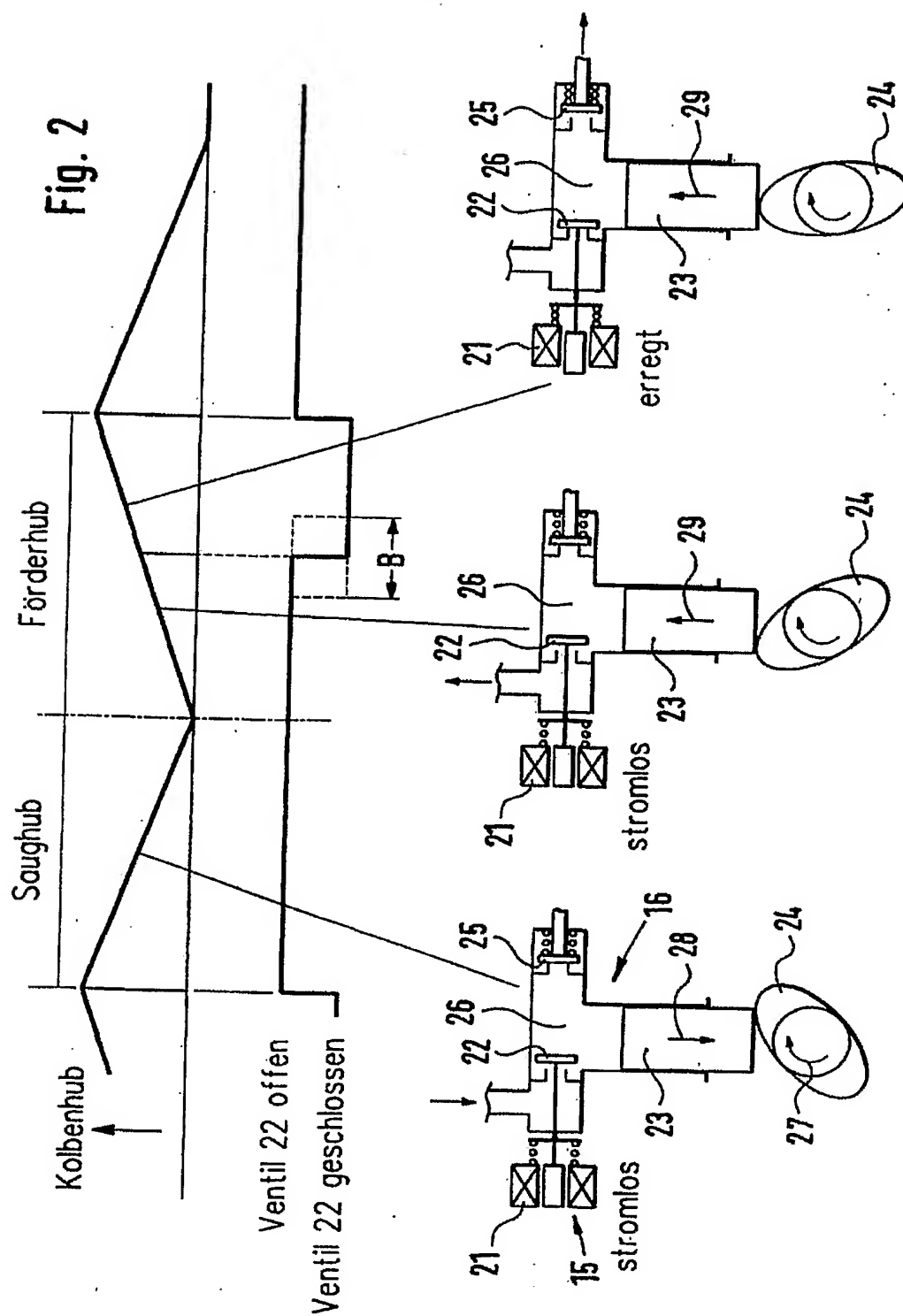
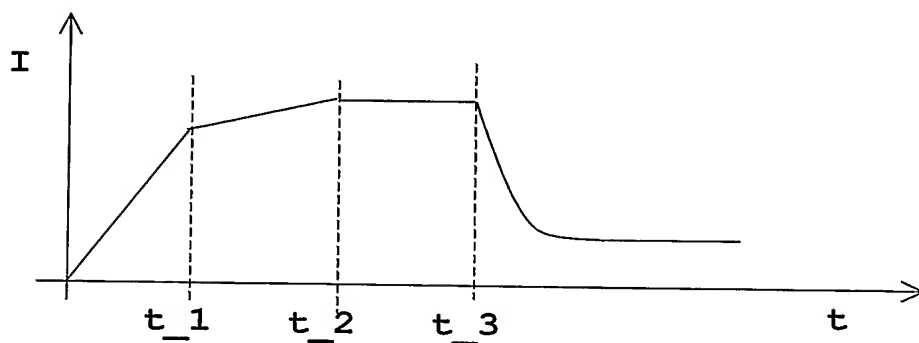
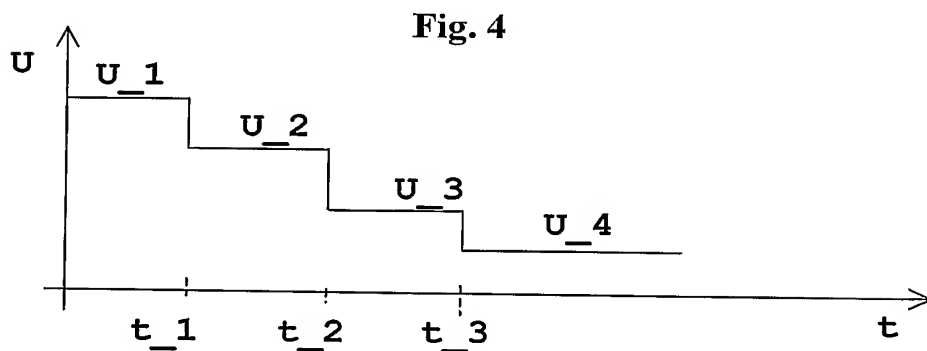
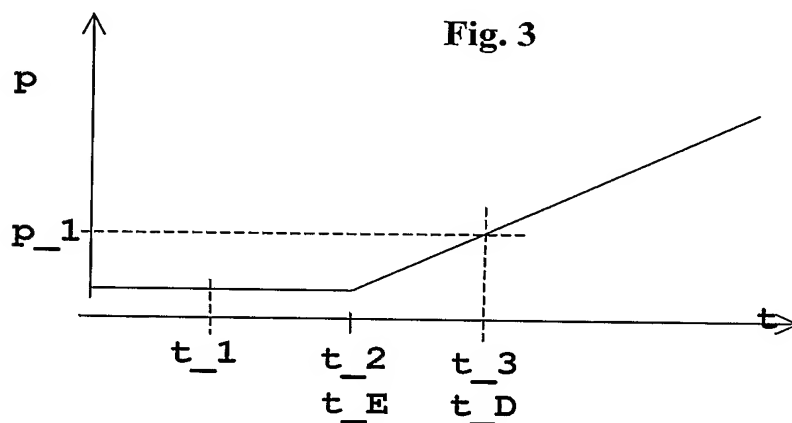
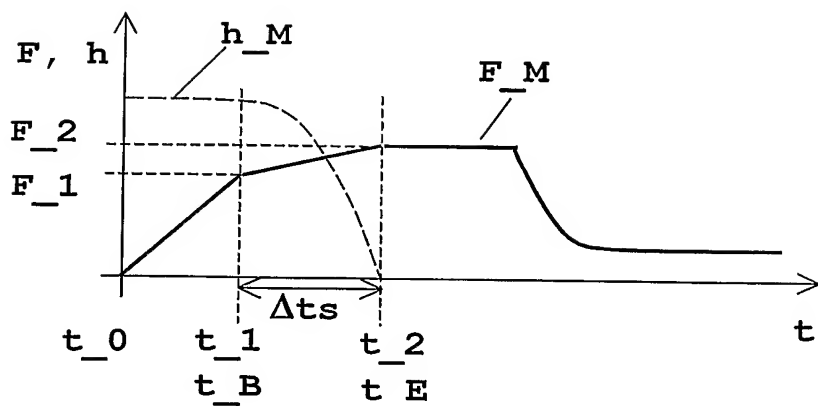


Fig. 1





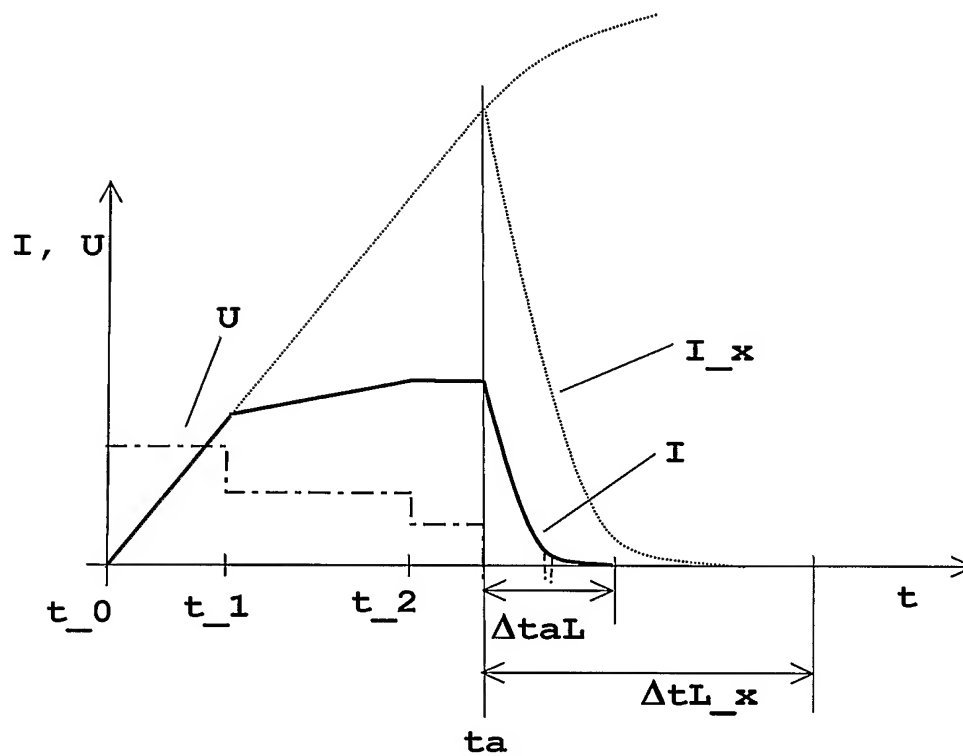


Fig. 7